

# 磁力电机结构关键参数优化及敏感度分析

侯晨祥

(漯河技师学院,电气工程系,河南省漯河市,462000)

**摘要** 磁力电机依靠磁场相互作用完成扭矩传递任务,有效避免因直接机械接触带来了磨损。为了提高电机运行效率,设计了一种采用响应面法结构关键参数优化方法,并进行参数敏感性分析。研究表明:在获得满意响应面模型后,对高参数敏感度分析确定最优关键参数:弧系数0.83,磁块厚度4.33mm,内转子永磁体厚2.31mm。得益于在相同体积内电机输出转矩的增加和谐波成分的减少,优化后磁力电机效率显著提高。该研究有助于提高电机结构参数的设计能力,为后续的工艺优化奠定一定的理论基础。

**关键词** 磁力电机;结构参数;调磁;敏感度分析

中图分类号:TM352 文献标识码:B

文章编号:1008-0899(2026)04-0031-02

与机械电机传动机制不同,磁力电机依靠磁场相互作用完成扭矩的传递任务,避免了直接发生机械接触,显著减少振动和噪音因素影响<sup>[1]</sup>。磁力电机的旋转速度越快所造成的涡流损失也越大,这对永磁电动机的寿命也会产生不利影响<sup>[2]</sup>。因此,开展磁力电机结构关键参数敏感度分析是目前研究的热点之一。

当前研究聚焦于提升磁力电机转速控制精度,但受限于内外转子表面贴合结构,永磁体强度存在上限<sup>[3]</sup>。近年来学者们针对该问题展开探索:梅柏杉等<sup>[4]</sup>提出叠片式磁性槽楔结构,通过有限元分析验证其较普通槽楔能有效降低齿槽转矩和电机损耗;陈云云等<sup>[5]</sup>设计了钕铁硼与铁氧体混合的交替极局部永磁电机,建立局部退磁模型,以提升永磁体工作点和降低退磁率为目标提出了抗退磁优化方案。在此基础上,针对高速运转时的挑战,研究进一步引入响应曲面方法,对内、外转子进行协同调节,并通过参数敏感性分析优化磁力电机关键结构参数,为提升系统性能提供了新思路。

## 1 磁力电机设计

作者简介:侯晨祥(1985~),男,山西晋中人,本科,高级实习指导教师,研究方向:电子技术、自动化。

常规结构的磁性电机在低速环境中获得了广泛使用,其内外转子均嵌入了永磁材料<sup>[6]</sup>。这类电机依靠磁场调整机制运行,但这一过程会在气隙磁场中激发众多谐波信号,进而导致转子永磁体在运转过程中出现显著涡流而造成能量损耗,严重影响了其运行稳定性。设计了一种新型的真空磁性电机,其系统构造见图1。

这种新型电机与传统磁性电机存在明显区别。内转子采用内置式表面贴装磁钢设计形式,可以在高速运转过程中采用圆弧型永磁铁结构,减小了永久磁铁损坏危险,从而减小内部转子铁芯磁桥发生漏磁的概率。采用该方法将永磁铁全部聚集在调磁块处,可有效消除由于转动产生的涡流损失,从而大大提高驱动效率。

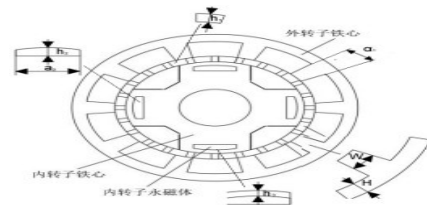


图1 磁力电机

## 2 结构优化

### 2.1 优化方案

为了探究真空型磁力电机的最佳制造工艺,对其结构参数进行了细致调整,并对各参数间的相互影响进行了深度优化。在本实验中结合参数敏感性分析和响应面法,对磁力电机的结构设计数据进行了优化。在计算各参数的敏感性指数以及目标

分层的基础上,建立不同层次下响应面模型,并通过循环磁带进行优化,目的是寻找不同响应面模型的布谷鸟参数,进而确定最终的优化方案。

## 2.2 参数敏感度

本实验以敏感度判断各参数对目标的影响,采用参数绝对值变化值作为评估标准,其中,正值、负值分别表示对优化目标正向推动和负向抑制的作用。为了探究各结构参数间的相互作用及其对优化目标的影响,引入了综合性敏感度来评估由结构设定值变化导致的优化目标偏差,为该指标建立以下函数算式:

$$F(X_i) = \lambda_1 |G(X_i)| + \lambda_2 |H(X_i)|$$

式中: $G(x_i)$ 、 $H(x_i)$ 是输出转矩和齿槽转矩设定条件下的敏感度测试结果。

深入探讨磁力电机结构敏感度后,得到表1中的相关参数配置结果。

表1 敏感性分析结果

参数	$G(x)$	$H(x)$	$F(x)$	优化前	优化后
$\alpha_1$	3.33	-1.34	2.41	0.80	0.83
$\alpha_2$	1.84	-1.08	1.63	0.84	0.88
$W$	-0.20	0.03	0.44	6.45	7.15
$H$	1.00	0.02	0.55	6.80	6.35
$h_1/\text{mm}$	3.15	-1.30	2.36	3.60	4.33
$h_2/\text{mm}$	1.18	-0.84	2.02	4.50	4.30
$h_3/\text{mm}$	1.00	-1.00	1.56	2.50	2.31

依据敏感度检测参数,将其划分为三个不同的等级。第一等级包含敏感性较高的参数,其 $F(x_i)$ 值不低于2.0;第三等级是由敏感性较低的参数组成,其 $F(x_i)$ 值不高于1.0;中间等级参数 $F(x_i)$ 值介于1.0~2.0之间。通过这种参数分层次的设计策略,可以有效地降低响应面的维度。从较高敏感性的前两个等级中挑选出18个样本点,并对较低敏感性的第三个等级开展10次分析,最终经过50轮采样,以此提高优化处理效率。

## 3 优化分析

### 3.1 响应面法优化

采用响应曲面法对磁力马达进行优化设计,建立的反应曲面模型能够有效满足系统设计的要求。在获得满意响应面模型后,对高参数敏感度通过布谷鸟搜索的方式实现智能优化,从而找到敏感性较高的最优解,优化前后的敏感性分析结果具体数据

列于表1中。优化后结果将弧系数设置为0.83,磁块厚度4.33mm,内转子永磁体厚2.31mm。

### 3.2 优化前后性能对比

为确保本文设计改进方法的准确性和稳定性,分别建立了改进前后的模型,并对磁力电机的电磁特性进行了深入分析,图2为优化前后效率曲线变化情况。分析图2可以看出,随着功率的增加,电机工作效率表现出单调减小的变化。这是因为较大的功率会增加电机的负担,进而影响转化效率,这符合尝试,也可以证明本文方法是准确的。通过对比优化前后的效率结果,优化后的磁动电机效率显著提高,提高了约有5%左右。

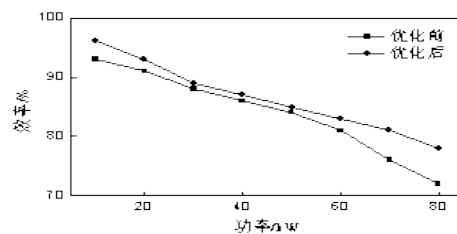


图2 优化前后效率特性

## 4 结语

本文开展磁力电机结构关键参数优化及敏感度分析。在获得满意响应面模型后,对高参数敏感度分析确定最优关键参数:弧系数0.83,磁块厚度4.33mm,内转子永磁体厚2.31mm。得益于在相同体积内电机输出转矩的增加和谐波成分的减少,优化后磁力电机效率显著提高。

### 参考文献

- [1] 戈宝军,刘海涛,王立坤,等.LNG泵用低温高速永磁电机偏心故障动态电磁力[J].电机与控制学报,2022,26(05):55-64.
- [2] 王宇,郝志勇,郑康,等.基于多向电磁力的永磁同步电机电磁噪声分析[J].浙江大学学报(工学版),2020,54(12):2286-2293+2404.
- [3] 李婧,徐佳明,刘康,等.高温超导直线同步电机电磁力仿真与实验研究[J].中国电机工程学报,2024,44(11):4513-4525.
- [4] 梅柏杉,孙庆超.采用新型磁性槽楔的永磁同步电机分析[J].微电机,2020,53(11):65-69.
- [5] 陈云云,李紫茵,周鑫,等.复合结构混合永磁电机抗退磁性能分析及优化[J].电子测量技术,2023,46(11):1-6.
- [6] 韩以伦,陈涛,李国珊.轮毂电机气隙偏心下不平衡电磁力与转子系统振动特性分析[J].科学技术与工程,2019,19(30):140-145.